

Journée d'Actualité Archéologique en Pays Eduen



Actes de la journée du 18 avril 2014

Service Archéologique de la Ville d'Autun



Service
Archéologique
Ville
Autun

Expertise et suivi d'une acquisition Lidar pour l'archéologie : l'exemple d'Autun

Laure Saligny

Co-responsable de la plateforme Technologique Géomatique Bourgogne Franche-Comté (GEOBFC),
Maison des Sciences de l'Homme de Dijon, USR 3516, CNRS-Université de Bourgogne

Michel Mémier

Directeur société Sintégra, Meylan

Depuis les années 80, l'archéologie française met en œuvre des méthodes de prospection afin de détecter et d'identifier des sites archéologiques sans avoir besoin de recourir aux techniques de fouilles (Dabas *et al.*, 2006). L'intérêt de la prospection est de produire des informations archéologiques à l'échelle d'une région plus ou moins grande, traduisant une histoire du peuplement, de l'occupation du sol et des paysages. De la reconnaissance de surface, à l'identification des éléments de sous-sol par géophysique ou télédétection, en passant par la mise en valeur d'anomalies de relief (ou micro-reliefs), l'archéologue dispose de techniques de reconnaissance de plus en plus nombreuses, et complémentaires à adapter selon le contexte environnemental. Depuis le début des années 2000, une nouvelle technologie non invasive s'impose pour détecter ces micro-reliefs et révéler les sites sous couverts forestiers : la lasergrammétrie aéroportée, appelée également laser aéroporté ou encore Lidar aéroporté (pour *Light Detection and Ranging*). En effet, la forêt, bien qu'excellent conservateur des vestiges fossilisés tel que les terrasses, les parcellaires anciens, les zones d'extractions ou les habitats, reste un milieu difficile pour la reconnaissance et l'enregistrement des sites en raison de la faible visibilité. Face aux outils traditionnels de relevés, la télédétection par la technologie Lidar est en train de bouleverser la manière de repérer les sites. En s'affranchissant en grande partie des contraintes d'accès et de visibilité, le laser aéroporté autorise une cartographie des sites plus précise tant sur la quantité de vestiges que leur localisation (Fruchart *et al.* 2011, Georges-Leroy *et al.* 2012, Sittler and Schellberg 2006).

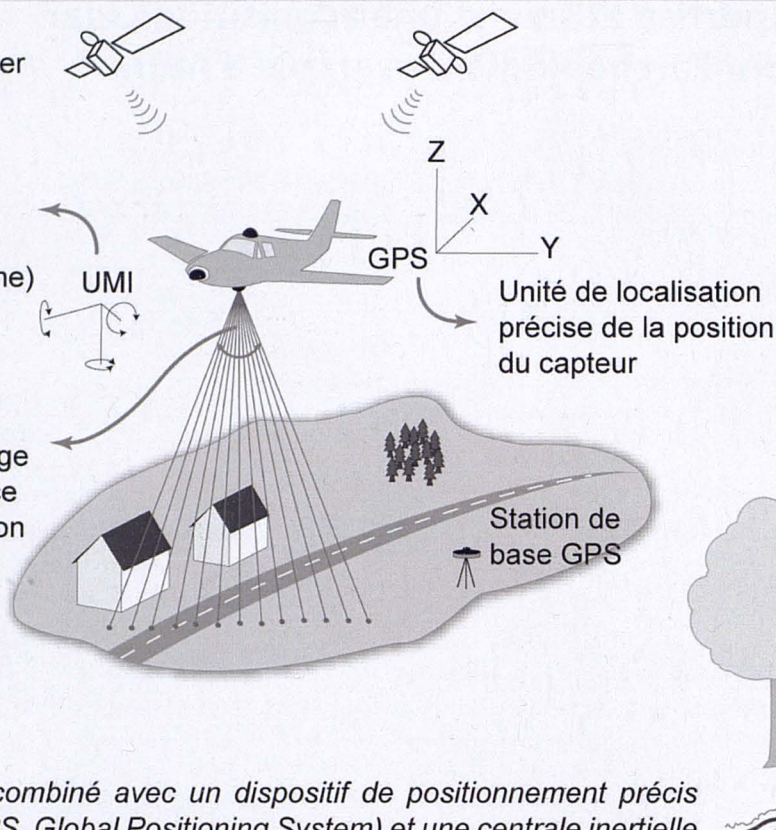
La technologie consiste à enregistrer des mesures de distance entre un objet et le scanneur laser, calculées à partir de la différence de temps entre l'émission du laser et sa réception après réflexion par l'objet (Fig.1). Le laser balaye la surface du sol à l'aide de miroirs rotatifs ou oscillants et peut enregistrer, pour un même signal émis, des mesures multiples, appelées échos ou retours. Les échos sont localisés dans un système de coordonnées grâce au système de géoréférencement couplé au Lidar. Celui-ci est composé d'un récepteur satellite GNSS et d'une unité de mesure inertielle (IMU) qui permet, pour chaque signal émis, de connaître précisément la position de la source et sa direction d'émission dans l'espace. Après correction des erreurs (positionnement, rapport signal sur bruit du signal retour, angle et taille du balayage), on obtient donc un nuage de points en x,y,z, enrichis de l'intensité (dépendante de la réflectivité des objets). La précision absolue verticale et horizontale des points, attendue pour les terrains en archéologie, est de l'ordre de 10 cm. (Wehr and Lohr 1999).

La seconde étape d'une opération de relevés Lidar consiste au traitement et au filtrage des échos puis à la production des données dérivées. Il s'agit de classer les échos en fonction de l'objet sur lequel le faisceau s'est réfléchi : sol / hors sol ou dans certains cas, terre nue / bâti / végétation, basse, moyenne, haute / eau. Cette classification se fait selon des opérations semi-automatiques ou, de manière manuelle selon les problématiques archéologiques. Une fois les points sols obtenus, leur information altimétrique est utilisée pour produire des modèles numériques de terrain (MNT) sur lesquels des

Système pour déterminer l'orientation précise du faisceau laser

UMI = Unité de Mesure Inertielle (enregistre le tangage, le roulis et la position de la plate-forme)

Appareil Lidar qui émet des impulsions infrarouge laser par balayage grâce à un miroir oscillant selon un angle défini par l'opérateur jusqu'à environ 30°.



Le système laser est combiné avec un dispositif de positionnement précis embarqué et au sol (GPS, Global Positioning System) et une centrale inertielle (UMI) permettant de déterminer l'orientation précise du faisceau laser.

Fig. 1 Principe du système laser aéroporté LIDAR (Light Détection and Ranging), (d'après Ž. Kokalj et K. Oštir, in, Rodier et al., 2011)

indices et des algorithmes de traitements d'imagerie sont réalisés afin de détecter des micro-reliefs caractéristiques de certains vestiges.

En 2013, un partenariat scientifique entre la Maison des Sciences de l'Homme de Dijon, la Direction Régionale de la Culture de Bourgogne, l'EPCC Bibracte et la ville d'Autun¹ a permis l'acquisition de données Lidar sur la ville d'Autun couplées à des orthophotographies. L'acquisition des données et leurs traitements ont été réalisés par la société Sintégra dans le respect du cahier des charges techniques défini selon les objectifs scientifiques des études prévues. Très souvent, on constate que, le filtrage du nuage de points est automatisé par les prestataires. Hors, l'expérience a montré que cette automatisation pouvait être insuffisante pour restituer un modelé topographique satisfaisant pour l'archéologue. Un filtrage automatique peut confondre végétation

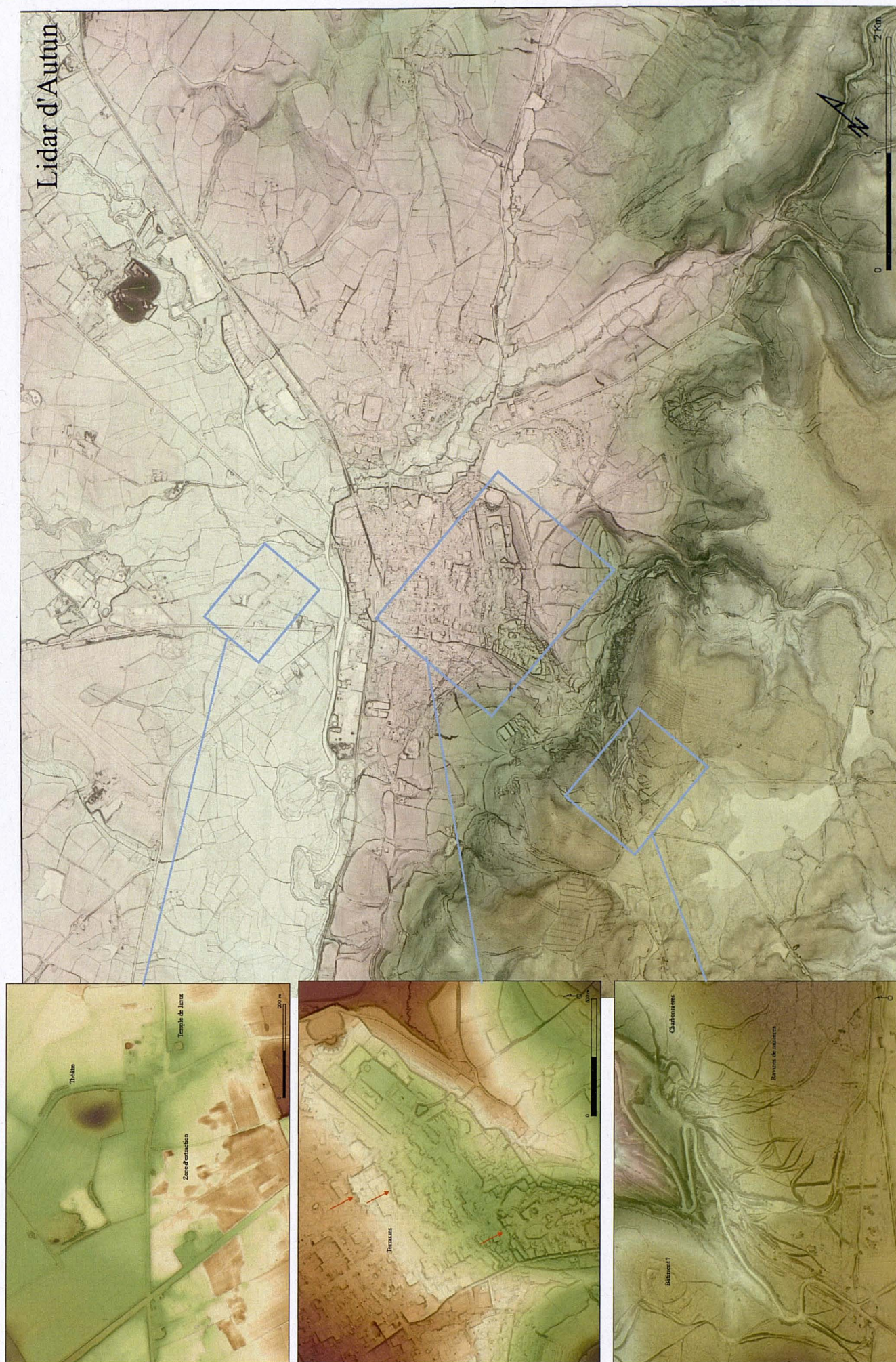
basse (buissons, haies, etc.) avec certains vestiges rasants ainsi, soit tout est conservé, vestiges et végétation, ou à l'inverse, tout est filtré. Dans le premier cas, cela produit une information trop bruitée, dans le second cas, l'information est trop lissée et l'une ou l'autre sont insuffisantes pour l'archéologue. C'est pourquoi il est important de collaborer avec les prestataires pour produire une classification adaptée aux enjeux scientifiques et de procéder à une expertise des données dès leur réception permettant également de vérifier que le vol et les traitements soient conformes aux spécifications prévues.

Pour cette acquisition, une expertise la plus complète possible a été faite en raison des contraintes scientifiques. Cette acquisition couvre une surface de 71 km² centrée sur la ville d'Autun (cf. fig. 2), avec trois objectifs : enrichir la connaissance sur la topographie de

¹ Grâce aux financements du conseil Régional de Bourgogne, de la ville d'Autun, de la DRAC Bourgogne et de l'ANR MINEMET

Page suivante :
Fig. 2 Zone couverte par l'acquisition et encarts sur 3 secteurs : compositions colorées à partir du modèle numérique de terrain et de l'indice Sky View Factor.

Lidar d'Autun



Sources : Lidar Autun 2014 - Ville d'Autun, EPCC Bibracte, DRAC Bourgogne, Maison des Sciences de l'Homme de Dijon CNRS-UB 3516
 L'acquisition Lidar a été réalisée par la Société Smitégra, avec le soutien financier du Conseil Régional de Bourgogne et,
 le soutien technique de GEOBFC - Maison des Sciences de l'Homme de Dijon CNRS-UB3516.
 CAO : Compositions colorées MNT-SVF, LS - GEOBFC / MSH Dijon CNRS-UB 3516, 08/2014.

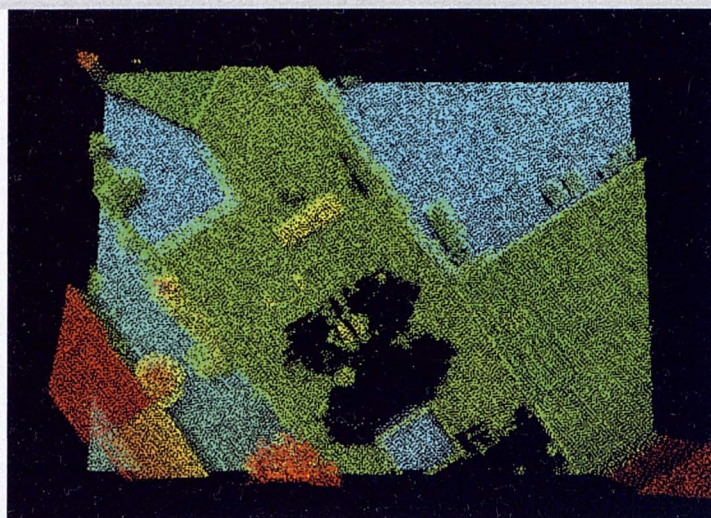
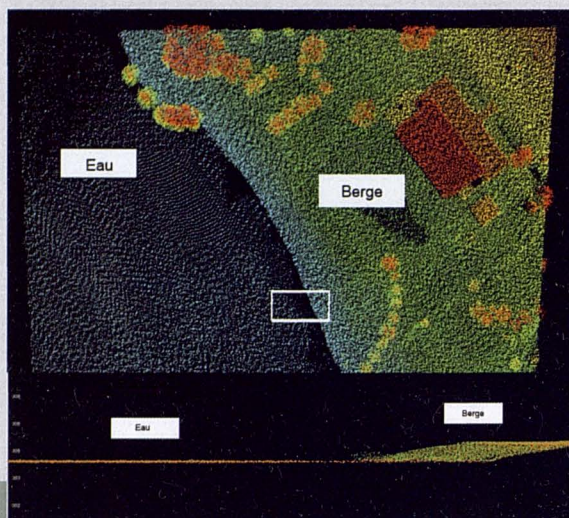


Fig. 3 Vérification dans le nuage de points :
classification sol / hors sol et données manquantes

la ville antique, étudier la plaine alluviale de l'Arroux en lien avec le Programme Collectif de Recherche Genetoye sur les environs du temple de Janus² et l'étude des massifs forestiers avec notamment l'étude des zones d'extraction minière³.

Les points validés dans l'expertise peuvent être regroupés en cinq ensembles :

- la complétude et l'intégrité des jeux de données livrés : une procédure automatisée sur un serveur a vérifié les 706 Go de données réparties en 120 dossiers et 20716 fichiers, chacun de ces fichiers ayant été ouverts ;

- la qualité du nuage de points :

- o calculs de la densité d'émission (premier écho) et densité des points sols pour estimer et localiser les zones sans point afin de valider la conformité au cahier des charges (zones sans point ne pouvant dépasser les 100m² dans les zones hors construction et surfaces en eau et densité de points sols demandée 10 points au m²) ;

- o qualité de la classification : sur des tests aléatoires dans le nuage de points, nous vérifions si les points sont correctement classés entre sol, hors sol et bâti (cf. fig. 2) ;

- o données manquantes qui peuvent

résulter d'un problème de transfert informatique lors de la compression / décompression de fichiers sur les serveurs du prestataire ou d'une erreur d'acquisition (cf. fig.2) ;

- la qualité des modèles numériques et la précision en altitude : estimation des z minimum et maximum, comparaison de l'altitude des modèles numériques de terrain avec les points de contrôle terrain du prestataire et des points de nos relevés topographiques ;

- la qualité des ortho-photographies en termes de radiométrie⁴, dévers⁵, mosaïquage et géoréférencement ;

- la qualité du filtrage avec la mise en évidence des micro-reliefs et des contrastes topographiques selon les contraintes scientifiques.

Concernant le résultat de l'expertise, l'ensemble des points a été validé :

- les quelques secteurs avec une densité de points sols inférieure à celle attendue sont des

2 Sous la direction de Yannick Labeaune (UMR 6298, ArTeHiS, Dijon), <http://www.artehis-cnrs.fr/IMG/Plaquette-PCR-Genetoye.pdf>

3 ANR-11-BSH3-0013 MINEMET Production et provenance d'or et d'étain dans l'Occident protohistorique et antique (2012-2015), sous la direction de Béatrice CAUUEU UMR 5608 Traces, Toulouse)

4 Il s'agit d'avoir une saturation des couleurs et un contraste homogène sur l'ensemble des dalles photos

5 Il s'agit de la distorsion de perspective des objets : les bâtiments peuvent avoir la bordure supérieure décalée par rapport à la bordure inférieure. Le dévers se calcule en pourcentage et sa diminution ou son absence peut être obtenue par un recouvrement plus important des photographies et l'emploi d'un modèle numérique de surface (le tout nécessitant un coût d'acquisition et de traitement plus important).

secteurs en eau, en zone urbaine voire sous couvert résineux, plus de 85 % de la surface de la zone possède une densité supérieure à 10 points / m² ;

- quelques zones ne comportaient pas de données dans le nuage de point mais ne relevaient pas d'un problème d'acquisition mais d'un problème de transfert informatique (cf. fig. 3) ;

- la moyenne des écarts d'altitude a été estimée à 0,37 cm sur l'ensemble des points testés, ce qui est très satisfaisant car l'altitude calculée par le Lidar est au-dessus de la végétation, soit souvent plus haute de quelques centimètres par rapport à des relevés topographiques ;

- pour les ortho-photographies, un rehaussement des contrastes a été refait permettant d'accentuer les détails des clichés, le géoréférencement, le mosaïquage et les dévers⁶ étaient conformes aux attendus ;

- les indices appliqués sur les MNT de quelques zones testées mettent bien en évidence des anomalies topographiques : terrasses sous la ville actuelle (hypothèse de terrasses antiques), sous couvert forestier, chevelu de canaux-ravines indices de l'extraction minière et « nouveaux sites », réseaux de paléo-chenaux dans la plaine alluviale et indices de sites (cf. fig. 2).

La mise en place d'une expertise rigoureuse et la plus complète possible est essentielle, elle permet de vérifier le respect du cahier des charges et l'adéquation des produits livrés avec les enjeux scientifiques. Mais, au-delà de ces aspects, elle permet également la mise en place d'un dialogue entre le prestataire et le commanditaire autorisant à ce dernier de s'approprier davantage la technologie et le jeu de données et permettant également au prestataire une meilleure compréhension des contraintes liées à l'application et une optimisation de leurs procédures.

6 Le calcul de dévers a été réalisé sur les ortho images principalement dans la zone urbaine et la hauteur des bâtiments a été obtenue par soustraction du MNS et du MNT. Visuellement, peu de dévers sont observables dans la zone urbaine, les dévers calculés sont quasiment tous inférieurs à 10° et donc conforme aux attentes du cahier des charges, soit 11°.

Pour conclure, l'acquisition sur la zone d'Autun et les traitements des données acquises ont été bien menés par l'équipe de la société Sintégra offrant ainsi aux partenaires une masse de données qu'il restera dorénavant à étudier et exploiter.

Bibliographie

Dabas M., Delétang H., Ferdière A., Jung C. and Zimmermann W. H., *La prospection*, collection « Archéologiques » (dirigée par A. Ferdière), Errance, Paris, 2006, 248 p., 2e édition, revue et complétée

Fruchart C., Laplaige C., Opitz R. and Nuninger L. "The LIEPPEC Project: Using lidar for the study of long term landscape change", *Antiquity*, Volume 85, Number 327, 2011.

Georges-Leroy M., Bock J., Dambrine E. and Dupouey J.-L., "Apport du lidar à la connaissance de l'histoire de l'occupation du sol en forêt de Haye", *Archéosciences*, 35-2011, PUR, pp.117-129, 2012.

Georges-Leroy M., Bock J., Dambrine E., Dupouey J.-L., Gebhardt A. and Laffite J.-D., "Les vestiges gallo-romains conservés dans le massif forestier de Haye (Meurthe-et-Moselle). Leur apport à l'étude de l'espace agraire", in CARPENTIER (V.) et MARCIGNY (C.) (dir.), *Des hommes aux champs. Pour une archéologie des espaces ruraux du néolithique au Moyen Age*, Presses universitaires de Rennes, pp. 157-180, 2012.

Nuninger L., Fruchart C. and Opitz R., "LiDAR: quel apport pour l'analyse des paysages ?", *Bulletin AGER*, 20 pp. 34-43, 2010

Rodier X., Barge O., Saligny L., Nuninger L. and Bertocello F., *Information Spatiale et Archéologie*, Paris, Errance, 2011

Sittler, B. and Schellberg S., "The potential of LIDAR in assessing elements of cultural heritage hidden under forest canopies or overgrown by vegetation: Possibilities and limits in detecting microrelief structures for archaeological surveys", *From Space to Place – Proceedings of the 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology*, am 4.-7. December

2006, edited by S. Campana and M. Forte, Rome, pp. 117-22., 2006.

Stular B., Kokalj Z., Ostir K., Nuninger L., *"Visualization of lidar-derived relief models for detection of archaeological features"*, Journal of Archaeological Science, pp. 3354-3360, 2012

Wehr A. and Lohr U. (1999), *Airborne laser scanning – an introduction and overview*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (54 / 2-3): 68-82.